

Рис. 2. Линии тока в исходной конструкции соплового аппарата

а

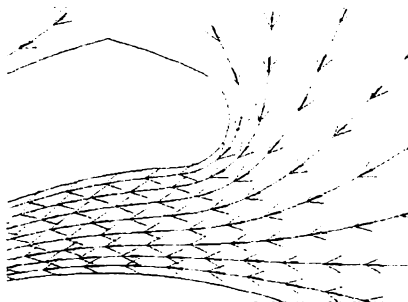


Рис. 3. Линии тока в сопловом вводе после закругления входной кромки

б

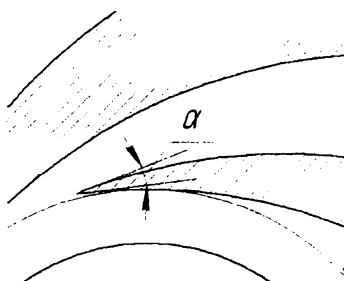


Рис. 4. Конструкция соплового аппарата: а – исходная конструкция соплового аппарата,  $\alpha = 14^\circ$ ; б – усовершенствованная конструкция соплового аппарата,  $\alpha = 3^\circ$ , где  $\alpha$  – угол соударения дозвукового и сверхзвукового потоков воздуха

Для того, чтобы свести к минимуму потери энергии, связанные с образованием скачков уплотнения, необходимо обеспечить как можно более плавное соединение сверхзвукового и дозвукового потоков.

На рис. 4,б представлена конструкция соплового аппарата, позволяющая уменьшить угол соударения потоков до  $\alpha = 3^\circ$ .

В результате внесения всех вышеизложенных изменений в конструкцию соплового аппарата удалось снизить расчетные потери энергии с 14,4 % до 6,5 %. С учетом того, что способ создания вихревого течения газа значительно влияет на процесс энергоразделения, можно прогнозировать соответствующее увеличение

изоэнтروпного КПД вихревой трубы в целом.

Приведенные результаты расчета показывают потенциальную возможность увеличения изоэнтропного КПД вихревой трубы только за счет устройства формирования вихревого течения - соплового аппарата, что в свою очередь приведет к соответствующему улучшению энергетических показателей и расширению области конкурентоспособного применения вихревых труб.

#### Библиографический список

1. Носков А.С., Хаит А.В., Бутымова А.П., Плешков С.Ю., Ловцов А.В. Энергоэффективность и экономическая целесообразность применения систем искусственного климата на базе вихревой трубы //Инженерно-строительный журнал. 2011, № 1(19). С. 17-23.
2. Пиралишвили Ш.А., Поляев В.М., Сергеев М.Н. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения / Под ред. А.И. Леонтьева. - М.: УНПЦ "Энергомаш", 2000. - 414 с. - Библиогр.: с. 400-412.
3. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969. - 184 с.
4. Азаров А. И. Вихревые трубы нового поколения // Конструктор. Машиностроитель. 2007, № 3. С.18-24.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учеб. для вузов. - 7-е изд., испр. -М.: Дрофа, 2003. - 440 с.
6. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений: учеб. пособие. - СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2001. -108 с.

## РАСЧЕТ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА В ЗАКРУЧИВАЮЩЕМ СОПЛОВИ АППАРАТЕ

А.С. НОСКОВ, А.В. ХАИТ, студ. А.А. ЛАПТЕВ, А.Ю. ПОСТНИКОВА

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Закрученные потоки жидкости начали привлекать внимание исследователей с начала XX века. Многочисленные и достаточно разнообразные практические приложения закрученных потоков, сложность их аналитического описания объясняют значительный интерес к ним. Этот интерес вызван также еще и тем, что закрутку потока вследствие комплекса свойств используют в различных тепло- и массообменных процессах. Примером могут по-

служить устройства, реализующие эффект энергоразделения, известный как вихревой эффект или эффект Ранка-Хилша.

В большинстве случаев вихревые течения формируются при помощи специальных сопловых аппаратов. Такие сопловые аппараты позволяют оптимальным образом разогнать газовый поток до звуковых, а в некоторых случаях и до сверхзвуковых скоростей. При этом эффективность конечных устройств зависит от способа формирования вихревых течений. В связи с этим особое внимание необходимо уделять оптимальному проектированию конструкции данных сопловых вводов.

В настоящей статье производится сравнение результатов расчета газового потока при помощи одномерной модели на основе уравнения Бернулли [1, 2] и трехмерной модели на основе уравнений Рейнольдса [2].

На рис. 1 и 2 представлена трехмерная расчетная сетка типа Hexa-Dominant, построенная в пакете ANSYS CFX для соплового ввода в вихревую трубу. Количество элементов – 460 000. В качестве модели турбулентности использовалась стандартная k-ε [3]. Свойства воздуха задавались как для идеального газа.

В качестве граничных были заданы следующие условия:

- избыточное давление на входе  $p = 700$  кПа;
- температура  $T = 300$  К;
- интенсивность турбулентности  $I = 5\%$ ;
- избыточное давление на выходе  $p = 0$  Па.

Одномерная модель газового потока была поставлена для одного из сопловых каналов. При этом вычислялись средние по сечению газодинамические параметры вдоль соплового канала. Изображение средней линии соплового канала приведено на рис. 3.

Для удобства в одномерной математической модели использовались дифференциальные уравнения движения: уравнение Бернулли (1), уравнение неразрывности (2), уравнение адиабаты (3). При этом течение газа считалось изотропным (без потерь энергии и теплообмена).

$$\frac{dp}{\rho} + VdV = 0, \quad (1)$$

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dF}{F} + \frac{dV}{V} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dp}{p} = k \frac{d\rho}{\rho}. \quad (3)$$

Для соблюдения корректности условий сопоставления результатов в качестве начальных условий были приняты параметры на входе в сопловой канал, полученные на трехмерной модели в предыдущем расчете:  $p_{изб} = 677\,300$  Па;  $T = 297$  К;  $\rho = 9,14$  кг/м<sup>3</sup>;  $V = 83$  м/с.

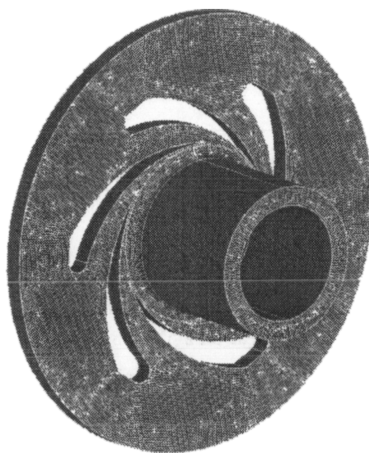


Рис. 1. Расчетная сетка трехмерного соплового ввода в вихревую трубу

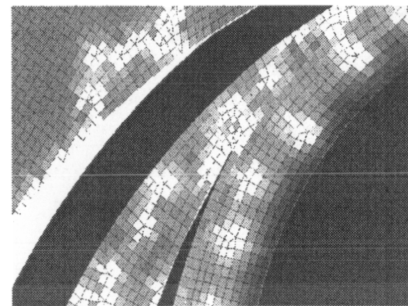


Рис. 2. Фрагмент расчетной сетки трехмерного соплового ввода в вихревую трубу

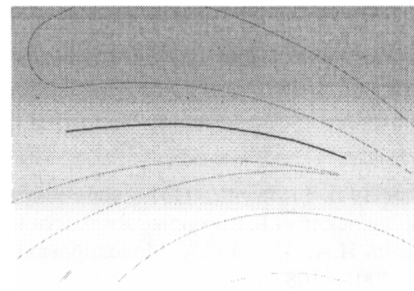


Рис. 3. Средняя линия соплового канала

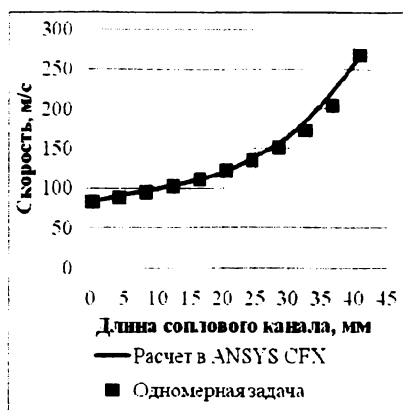


Рис. 4. Скорость вдоль соплового канала

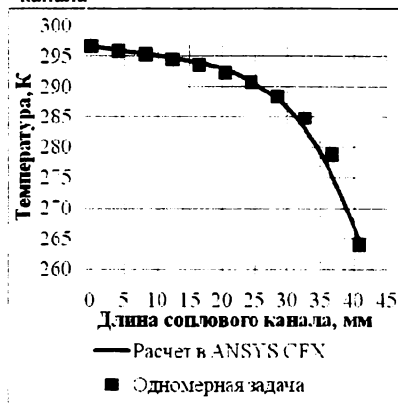


Рис. 6. Температура вдоль соплового канала

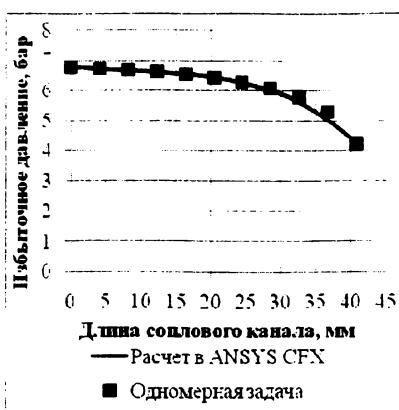


Рис. 5. Избыточное давление вдоль соплового канала

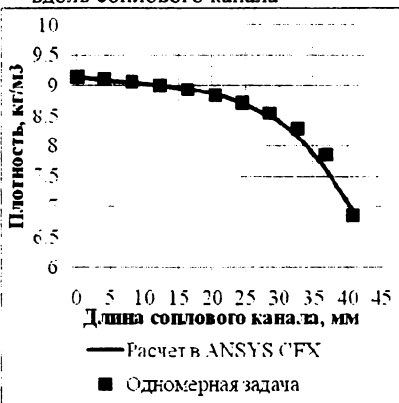


Рис. 7. Плотность вдоль соплового канала

Площади проходного сечения на входе и выходе из соплового канала:  $F_{\text{вх}} = 118,3 \text{ мм}^2$ ;  $F_{\text{вых}} = 49 \text{ мм}^2$ . Длина средней линии соплового канала равна 40,8 мм.

На рис. 4, 5, 6 и 7 представлены расчетные газодинамические параметры, полученные при помощи описанных выше математических моделей. Видно, что максимальная относительная разность в результатах расчетов не превышает 4 %.

В итоге можно сделать вывод о достаточно хорошем согласовании расчетных данных, полученных в газодинамическом пакете, с одномерной моделью газового потока. При этом занятое процессорное время на расчет задачи в газодинамическом пакете ANSYS CFX на персональном компьютере составило 43 часа.

Поэтому в случае инженерного расчета размеров стандартного многозаходного соплового аппарата более приемлемым вариантом является одномерный расчет по средним параметрам.

#### Библиографический список

- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. Гидродинамика. - М.: Наука. 1986. - 736 с.  
 Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учеб. для вузов. - 7-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2003. - 440 с.  
 Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений: учеб. пособие. - СПб.: Балт. гос. техн. ун-т. 2001. - 108 с.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДИАМЕТРА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В.И. ПАНФЕРОВ, Е.Ю. АНИСИМОВА, студ. А.А. АНГЕЛОВА

ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»

Теплоснабжение является крупной отраслью народного хозяйства. В условиях ограниченных топливных ресурсов рациональное и экономное расходование их представляет собой задачу большой государственной важности. Значительная роль в решении этой задачи отводится тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов как фактора, способствующего экономии топлива, а также обеспечивающего необходимый температурный режим в изолируемых системах и нормальные санитарно-гигиенические условия труда в производственных помещениях. Однако тепловая изоляция может полностью отвечать своему назначению только при условии правильного её выбора и расчета, основанного на требованиях, предъявляемых к ней со стороны производственного процесса.

Известно, что термическое сопротивление теплопередаче неизолированной трубы определяется по формуле: